

Aalborg Universitet



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Bygningsmodeller og Bygningsmodellering

Jørgensen, Kaj Asbjørn; Skauge, Jørn

Publication date:
2008

Document Version
Accepteret manuscript, peer-review version

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Jørgensen, K. A., & Skauge, J. (2008). Bygningsmodeller og Bygningsmodellering.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Forskningsrapport

Bygningsmodeller og Bygningsmodellering

Forkortet dansk udgave af engelsksproget rapport

www.iprod.aau.dk/bygit/Web3B

*Kaj A. Jørgensen
Aalborg Universitet*

*Jørn Skauge
Arkitektskolen Aarhus*

Forord

Nærværende rapport gengiver en forkortet udgave af indholdet af den engelsksprogede rapport "Building Models and Building Modelling". Denne rapport er udarbejdet på basis af studier, der er foretaget i forskningsprojektet "Bygningsmodellers Betydning for Dansk Byggeri" – i korthed: "3B-projektet". I dette projekt er der udviklet og analyseret to konkrete bygningsmodeller ved anvendelse af de to CAD-programmer ArchiCAD og Architectural Desktop. De to modeller blev udarbejdet på basis af tegninger og beskrivelser fra byggeprojektet "Sorthøjparken".

Formålet med rapporten er at opstille nogle fundamentale forhold vedrørende bygningsmodeller og bygningsmodellering og på basis heraf at udvikle nogle generelle anbefalinger om bygningsmodellering. I den relativt teoretiske del af rapporten er der opstillet et antal ideer og forslag til begreber, abstraktioner og fremgangsmåder ved modellering. Denne del er baseret på generelle forhold om systemteori, systemmodeller og systemmodellering. De opstillede anbefalinger om bygningsmodellering indeholder primært et antal hovedaktiviteter, der bør følges. I rapporten er desuden foretaget en nærmere gennemgang og analyse af de to CAD-programmer, hvilket er gengivet i to appendikser.

Selv om bygningsmodeller generelt kan ses i en bredere sammenhæng, så foretages der i rapporten den afgrænsning at de kun dækker de mest centrale data om bygninger: bygningsdele og rum. Det betyder, at bygningsmodellering også er afgrænset til dette indhold. Modelleringsaktiviteterne er yderligere afgrænset til kun relateret til de tidlige faser af byggeprojekter og desuden bliver bygningsmodeller betragtet som en samlet repræsentation, hvilket tydeligvis er forud for sin tid i forhold til de aktuelt forekommende modelleringsværktøjer.

Det skal pointeres, at de to CAD-programmer primært er valgt, fordi de ved starten af projektet i forvejen blev brugt af

forfatterne og ikke ud fra en forudgående undersøgelse. At andre CAD-programmer ikke er inddraget, er således helt arbitrært og ikke baseret på nogen form for analyse.

Rapporten er primært rettet mod aktører i byggebranchen, der i forvejen har et vist kendskab til at designe eller modellere bygninger. Det er forfatternes håb, at læserne ved at studere rapporten vil indse, at bygningsmodellering metodemæssigt er baseret på et solidt teoretisk fundament, at man vil finde de fremsatte forslag velargumenteret og at man kan udvikle egne personlige modelleringsmetoder med reference til forslagene. Endelig er det målet med rapporten, at den kan være brugbar for studerende på byggefaglige uddannelser.

Rapporten er delt i kapitler og appendikser. Kapitlerne indeholder en sammenhængende præsentation af bygningsmodellering og bygningsmodeller mens de udarbejdede appendikser beskriver og sammenligner de to CAD-programmer samt gennemgår en række konkrete modelleringsemner i den forbindelse. Eksempler og figurer i rapporten og i dette resumé er fortrinsvis udarbejdet ud fra disse bygningsmodeller.

Forskningsprojektet har opnået økonomisk støtte fra Boligfonden Kuben. Dette har haft stor betydning for projektet, idet der så har været mulighed for at indsamle værdifuld viden og få praktisk assistance til udarbejdelse af bygningsmodellerne. Der skal her udtrykkes en stor tak til Boligfonden for denne håndsækning. Desuden skal der rettes en tak til de, der har støttet med data og gennemførelse af forskellige undersøgelser: Granlund (Finland) samt BygTech IT, VR MediaLab Aalborg Universitet og parterne i "Sorthøjparken".

Maj 2008

Kaj A. Jørgensen

Jørn Skauge

Indhold

Indhold.....	3
1. Introduktion	4
1.1 Computerbaseret software til bygningsmodellering	4
1.2 Computerbaserede bygningsmodeller	5
1.3 Modelbaseret bygningsdesign	6
2. Fundamentaltale forhold om bygningsmodellering	8
2.1 Systemmodellering og bygningsmodellering	8
2.2 Primære former for bygningsmodellering	9
3. Fundamentale forhold om bygningsmodeller	11
3.1 Bygningsmodellers objekter og strukturer	11
3.2 Oprettelse af bygningsmodel-objekter	13
3.3 Udnyttelse af bygningsmodeller	13
4. Hovedaktiviteter i bygningsmodellering	15
4.1 Indholdet i helhedsmodellering	15
4.1.1 Brugsrum	16
4.1.2 Helhedsmodellering – Konstruktion	16
4.1.3 Helhedsmodellering – Ydeevne	16
4.1.4 Resultatet af helhedsmodelleringen	16
4.2 Efterfølgende design- og detailmodellering	17
4.2.1 Brugsrum	17
4.2.2 Konstruktioner og installationer	17
4.2.3 Objekter i både brugsrum og konstruktion	18
4.2.4 Detaljeringsgrader	18
5. Andre forhold vedrørende bygningsmodellering	19
5.1 Modelleringsforløb	19
5.2 Identifikation af modelobjekter	19
5.3 Underopdeling af modelobjekter	20
5.4 Selekttering af model-objekter	20

6. Konklusion	21
----------------------------	-----------

Appendiks A – Modellering i ArchiCAD (AC) og Architectural Desktop (ADT)

A.1 Modelleringsprocessens hovedaktiviteter	22
A.1.1 Rummodellering	22
A.1.2 Konstruktionsmodellering	22
A.2 Bygningsmodelleringsprocessens stadier	22
A.3 Særlige modelleringsmuligheder	23
A.3.1 Isolering af deludsnit i modellen	23
A.3.2 Vægges opdeling i materialelag	23
A.3.3 Indsættelse af fritstående vinduer og døre	24
A.3.4 Vægafslutninger ved vinduer, døre og åbninger	24
A.3.5 Vægafslutninger ved fritstående ydervægge.	24
A.3.6 Speciel design af vinduer og døre	25
A.4 Specielle forhold	25
A.4.1 Væg-dæk tilslutninger	25
A.4.2 Tagkonstruktion	25
A.4.3 Hjørnevinduer	25
A.4.4 Layout ved print og plot	25
A.4.5 IFC import / export	25
A.5 Erfaringer fra 3D modellering	26

Appendiks B – Dataudtræk fra AC og ADT til visualisering, analyser, mm.

B.1 Visualisering og analyser	27
B.1.1 Visualisering og animation	27
B.1.2 IFC-baserede viewere	27
B.2 Modelanalyser og simuleringer	28
B.2.1 Solibri Model Checker	28
B.2.2 Mængdeberegning og kalkulation	28
B.2.3 Statisk analyse af konstruktion	28
B.2.3 Termisk analyse	29
B.3 2D tegningsudtræk	29

1. Introduktion

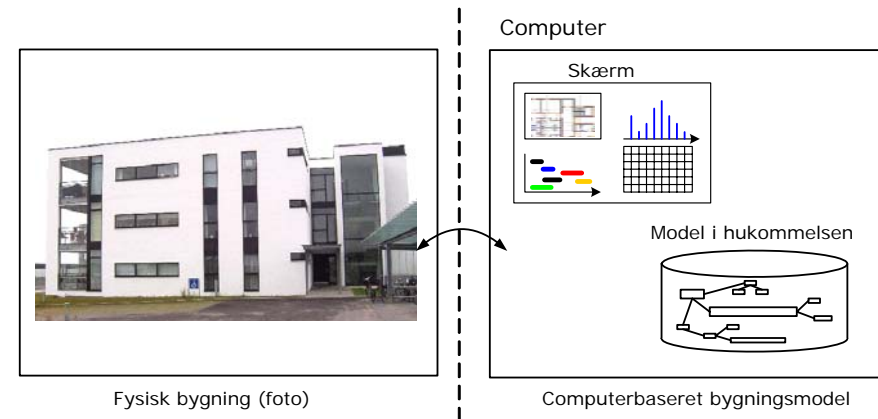
Bygningsdesign er en væsentlig aktivitet i forbindelse med tilvirkning af en bygning. Ved design af bygningen bliver det taget beslutninger om, hvordan bygningen skal se ud, indrettes og opføres. Resultatet er data, der så præcist som muligt beskriver dette.

En beskrivelse af en bygning kan overordnet betegnes som en model og traditionelt udgøres det af et sæt tegninger og en verbal beskrivelse. Men en bygningsmodel kan have mange udformninger og rumme mange forskellige udvalg af data. I de senere år har computerteknologien tilført mange nye dimensioner til det at udvikle og præsentere en bygningsmodel. Der er således meget software til rådighed og tegninger fremstilles i dag fortrinsvis vha. computere. Dvs. at bygningsmodellen er *repræsenteret* og gemt i computerens hukommelse, hvorfra den kan behandles, præsenteres, transformeres og trækkes ud. I det følgende betragtes kun computerbaserede bygningsmodeller¹.

1.1 Computerbaseret software til bygningsmodellering

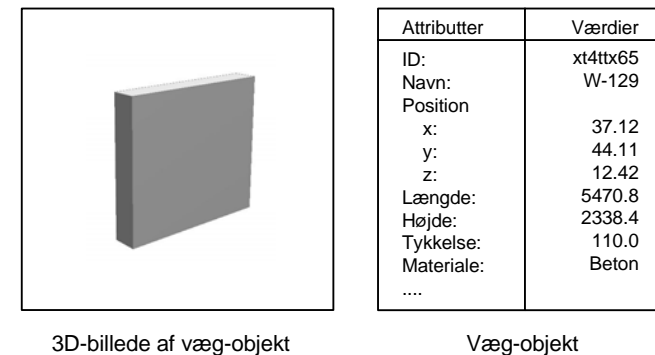
Den primære type af software, der aktuelt bliver brugt i bygningsdesign er tegne-software, hvor det primært yder brugeren støtte til oprettelse og behandling af forskellige slags streger og tekst på sædvanlige todimensionale tegninger. Den interne repræsentation af sådanne tegninger er kun en datastruktur af objekter for tegningskomponenterne og med attributter, der definerer koordinater, linietype, linietykkelse, farve, osv.

¹ Betegnelsen bygningsmodel er benyttet i denne rapport i stedet for andre betegnelser som *bygningsinformationsmodel* (eng. *Building Information Model*) eller *virtuel bygning*.



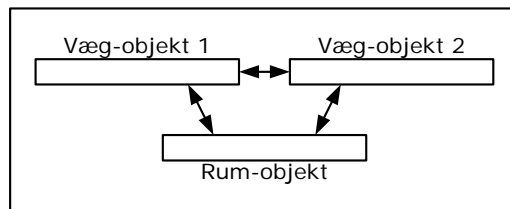
Figur 1 – Bygningsmodelleringssoftware repræsenterer bygningsdele som software-objekter

Men nye former for modelleringssoftware er nu til rådighed, hvor den interne repræsentation er fundamentalt anderledes. I modsætning til tegne-software bliver *bygningsdele* her modelleret som software-objekter: vægge som væg-objekter, døre som dør-objekter. Sådanne *model-objekter* er altså det basale indhold i computerbaserede bygningsmodeller.



Figur 2 – Attributter for et væg-objekt

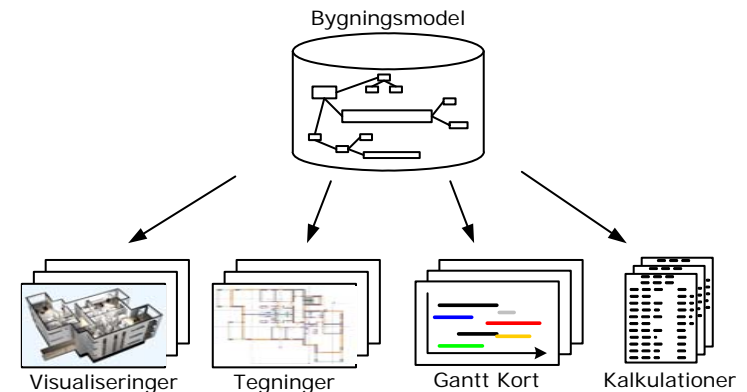
Model-objekterne har *attributter* til specifikation af bygningsdelene (se Figur 2) og *relationer* mellem bygningsdele også kan repræsenteres i softwaren i form af strukturer med objekter (se Figur 3). Når et objekt bliver oprettet, får attributter tildelt værdier, enten som standardværdier eller ved specifikation med softwaren. Normalt kan disse værdier ændres senere efter behov og objekterne kan derfor karakteriseres som *parametriske* objekter.



Figur 3 – Relationer mellem objekter

Denne måde at repræsentere bygningsdele er også fundamentalt anderledes sammenlignet med mange fritegningsværktøjer, hvor det primært er de synlige overflader af bygningsdelene, der er repræsenteret. Indholdet af bygningsdelene er som regel ikke modelleret.

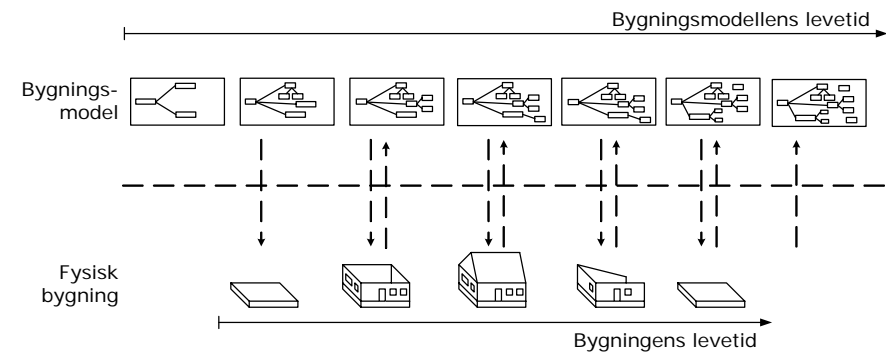
Bygningsmodel-objekter gør det omvendt muligt at producere bygningsmodeller, der kan beriges med forskellige specifikationer. Derved er det muligt at udtrække traditionelle data som tegninger, mængder, økonomiske oversigter, visualiseringer, varme- og ventilationsanalyser, akustiske analyser, indkøbsforslags, osv. (se Figur 4). Sådanne bygningsmodeller kan tilmed indeholde data, der kan anvendes meget senere i forbindelse med drift og vedligeholdelse af bygningen.



Figur 4 – Forskellige former for data udtræk fra bygningsmodel

1.2 Computerbaserede bygningsmodeller

Ideelt set bør en bygningsmodel indeholde data, der bliver skabt i hele bygningens *levetid*, fra det tidspunkt, hvor ideen om bygningen bliver født, gennem opførelsesperioden og brugsperioden til det tidspunkt, hvor bygningen rives ned – måske endog senere (se Figur 5). De indeholdte data bør vedligeholdes omhyggeligt, så de kan bruges og genbruges så meget som muligt i alle bygningens livsfaser.



Figur 5 – Levetid for bygningsmodel og for den fysiske bygning

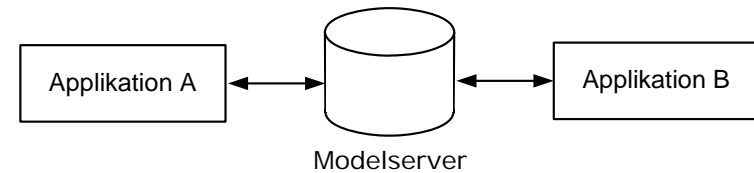
I relation hertil bliver repræsentationsmåden vigtig. Som oftest har hver softwareudbyder udviklet deres egne interne data repræsentation og filformater og valget af attributter i dataobjekterne varierer meget. Derfor er det vanskeligt at udveksle bygningsmodeller mellem software-værktøjer og når det kan gøres, resulterer det ofte i tab af data.

Den internationale organisation *International Association for Interoperability (IAI)* har imidlertid udviklet en uafhængig datamodel *Industry Foundation Classes (IFC)*, der således kan understøtte dataudveksling og tillige fremme ideen om en samlet repræsentation af bygningsmodeller. IFC fokuserer på repræsentation af kernedata om bygningsdele, hvorfor data til præsentation af bygningsmodeller er sekundære. IFC standarden indeholder også specifikation af, hvordan modeldata kan repræsenteres i datafiler², så softwareudbydere kan udvikle moduler, der kan læse og skrive filer med IFC repræsenterede bygningsmodeller (se Figur 6).



Figur 6 – Dataudveksling baseret på filer

Nogle få softwareudbydere har implementeret den samlede IFC datamodel som en database, der kan opbevare alle dataobjekter, der er i overensstemmelse med IFC. Et computersystem med en sådan database kaldes en *IFC modelserver* (se Figur 7). Foruden muligheden for indlæggelse og udtræk af modeller er det tanken at sådanne servere også skal understøtte specielle funktioner vedrørende versionering og sammenstilling af modeller samt deling af modeller mellem flere brugere.

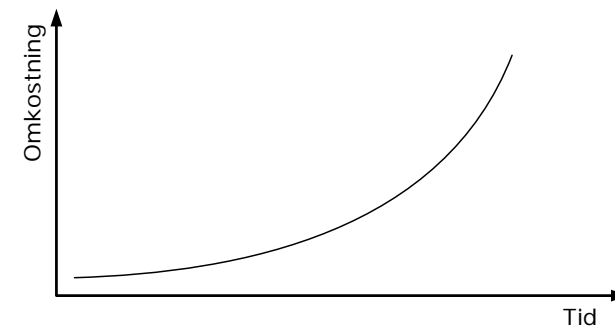


Figur 7 – Dataudveksling med modelserver

Forestillingen om bygningsmodellen som en samlet fil eller database, der er håndterbar fra flere brugere og software-værktøjer kan synes at være idealistisk, men med lidt flere funktionaliteter ved modelservere og nogle bedre import- og eksport muligheder i de mest betydelige software værktøjer til modellering kan situationen forbedres betydeligt.

1.3 Modelbaseret bygningsdesign

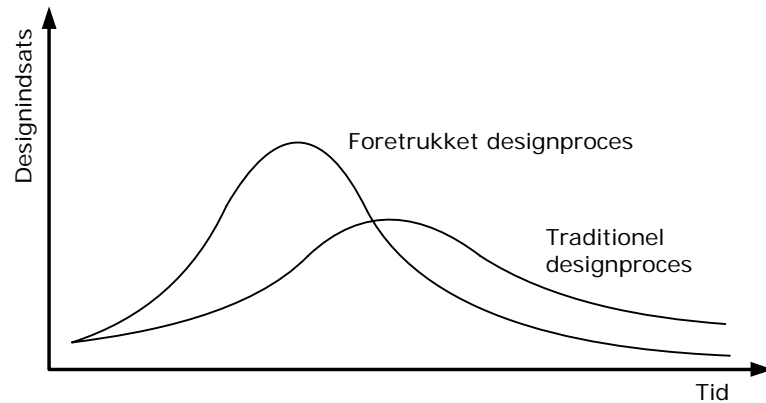
Traditionelle byggeprojekter, der er baseret på brug af tegningssoftware, har ofte måttet konstatere betydelige tab af ressourcer pga. uheldig eller forkert håndtering af tegninger. Dette har ført til mange fejlrettelser og det er et kendt faktum, at omkostningerne ved at foretage ændringer på beslutninger, der allerede er foretaget stiger dramatisk med tiden (se Figur 8).



Figur 8 – Omkostninger ved at omgøre beslutninger stiger med tiden

² Oprindeligt blev ISO 10303 Part 21 filformatet udviklet og specificeret men senere er der også fremkommet et filformat baseret på XML. Part 21 filformatet bliver normalt betegnet som IFC filformatet.

Der er desuden en generel tendens til at udskyde beslutningstagning i designaktiviteter så designindsatsen er spredt relativt meget over tid og mange beslutninger er udskudt til det er absolut nødvendigt (se Figur 9). Ifølge Figur 8 bør man i stedet fokusere på at flytte de vigtige beslutninger til de tidlige faser (se Figur 9), så unødvendigt spild af ressourcer undgås.



Figur 9 – Variation af designindsat for traditionel og foretrukket design proces

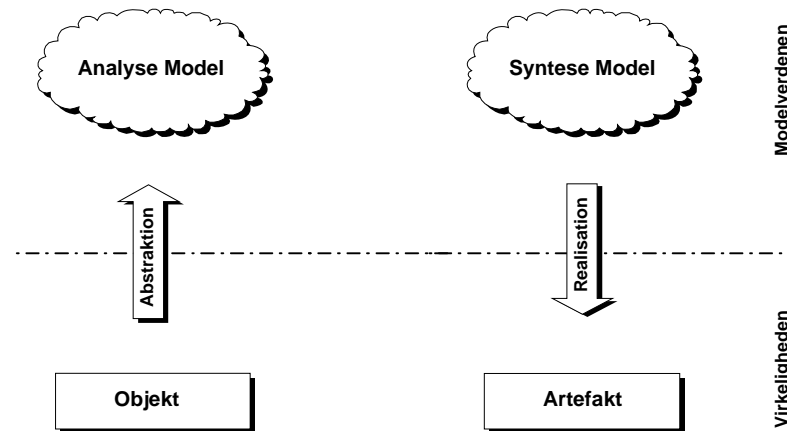
Modellering er netop et middel til at forbedre kommunikationen i design og dermed flytte designindsatsen til de mere betydende forhold. Før detaljerne lægges fast er det som nævnt muligt på basis af modeller at simulere mange forhold vedrørende den færdige bygning, så konsekvenser af forskellige alternativer lettere kan vurderes. Tegninger kan desuden i højere grad produceres automatisk og på grund af at modelleringsværktøjer er så relativt nemme at bruge, opmuntrer de imidlertid også til udsættelse af beslutninger. Det er derfor vigtigt, at der udvikles gode modelleringsmetodikker, at implementere disse og at sikre, at de bliver fulgt.

2. Fundamentaltale forhold om bygningsmodellering

Modellering er som oftest karakteriseret som en iterativ udviklingsproces med opstilling af løsningsforslag og efterfølgende konsekvensvurdering i forhold til opstillede krav. I den forbindelse er de muligheder, som nye modelleringsværktøjer tilbyder, af stor betydning.

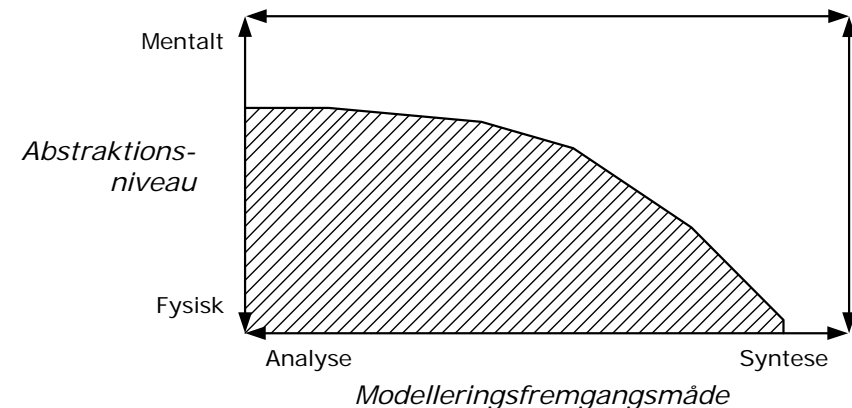
2.1 Systemmodellering og bygningsmodellering

Med udgangspunkt i systemteori kan alle modeller fundamentalt opdeles i analyse-modeller og syntese-modeller, analyse-modeller er modeller af noget eksisterende mens syntese-modeller er dannet ud fra ideer, tanker og forestillinger. På tilsvarende måde kan modellering opdeles i analyse-modellering og syntese-modellering. Den form for bygningsmodellering, der er omfattet af denne rapport, kan derfor betragtes som syntese-modellering og resultatet er en syntese-model, hvorfra der kan skabes en bygning (se Figur 10). I praksis bliver disse fremgangsmåder som regel blandet.



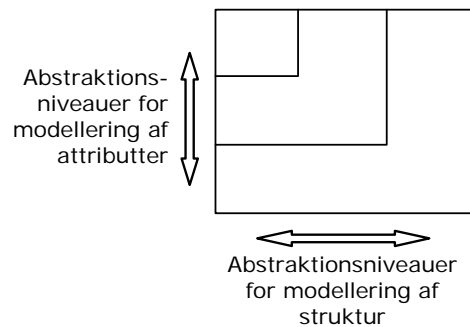
Figur 10 – Analyse-modellering og syntese-modellering

Modeller kan også karakteriseres i forhold til abstraktionsniveau, hvor det fysisk eksisterende er laveste grad af abstraktion mens det udelukkende mentale er højeste grad af abstraktion. Sammenholdt med analyse-modellering og syntese-modellering kan derfor illustreres, hvordan det typiske billede af modeller er (se Figur 11). Det er altså væsentligt at være bevidst om valg af hensigtsmæssig grad af abstraktion og fremgangsmåde.



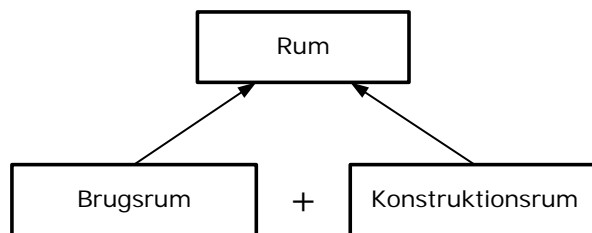
Figur 11 – Typisk karakterisering af modellering

Som det gælder generelt for systemmodellering, så indeholder bygningsmodellering identifikation af flere abstraktionsniveauer knyttet til to dimensioner: *modellering af attributter* og *modellering af struktur*. Kombinationen af disse dimensioner danner en modelleringsmatriks (se Figur 12), hvori det kan udtrykkes, at al modellering starter i øverste venstre hjørne og slutter i nederste højre hjørne. Forskellige veje kan følges, men hvilken og hastigheden afhænger af omstændighederne.



Figur 12 Modelleringsmatriks: modellering af attributter og modellering af struktur

Bygninger kan overordnet set opdeles i to slags komplementære rum: *brugsrum*, der bliver anvendt af brugere, og *konstruktionsrum*, der udgøres af bygningens konstruktion (se Figur 13). Brugsrum kan igen deles i *eksterne rum* og *interne rum*. Konstruktionsrum indeholder konstruktioner og installationer og de omgiver de interne brugsrum og lukker bygningen udadtil. Alle rum kan altså både underdeles i mindre rum og samles i større rum.

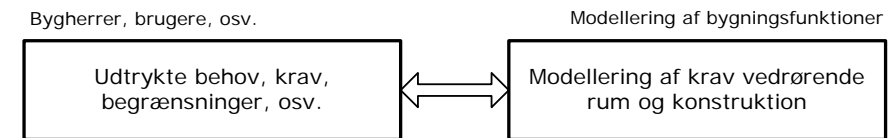


Figur 13 – Brugsrum og konstruktionsrum er komplementære til hinanden

2.2 Primære former for bygningsmodellering

Når de indledende overvejelser gøres omkring opførelse af en bygning, bør først og fremmest afklares, hvad formålet med

bygningen er og hvad bygningens primære funktioner skal være. Det betyder bl.a., at der bliver formuleret krav til bygningen og at der bliver arbejdet med overordnede løsninger på, hvordan disse krav kan opfyldes (se Figur 14). Der er tale om en modellering, som her er betegnet *funktionsmodellering*.



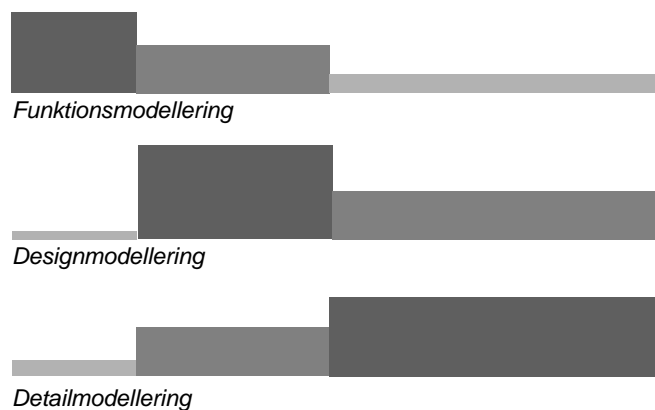
Figur 14 – Opstilling af krav og modellering af bygningsfunktioner

Når resultatet af funktionsmodellering er opnået, bliver modelleringen mere orienteret mod at generere mulige løsninger. Derfor bliver den næste form for modellering betegnet *designmodellering*. I denne modellering bliver der gennemført design direkte rettet mod identifikation af brugsrum og konstruktioner. Bygningsmodeller bliver heri detaljeret til et passende niveau og vurderet i forhold til de rammer, der er lagt i funktionsmodelleringen. De ressourcemæssige forhold bør vurderes og ses i forhold til Figur 8 and Figur 9.

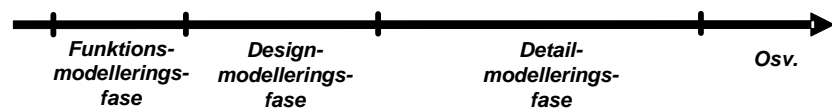
Den tredje form for modellering betegnes *detailmodellering*, der omfatter den videre modellering af bygningen til det ønskede detaljeringniveau. Det er kendetegnet ved denne fase, at det helst ikke bliver nødvendigt at ændre på beslutninger, der allerede er truffet i de tidligere modelleringer.

De tre forskellige modelleringsformer er også med til at identificere tre primære faser af bygningsmodellering: funktionsmodellering, designmodellering og detailmodellering. De tre faser er identificeret ud fra indsatsniveauet i de tre forskellige former for modellering og i praksis vil der ikke være en klar adskillelse mellem faserne (se Figur 15), hvorfor balancen mellem dem også bør overvejes. Yderligere skal disse modelleringsmåder ses i kombination med de to tidligere nævnte modelleringsdimensioner (se Figur 12).

Primære modelleringsformer



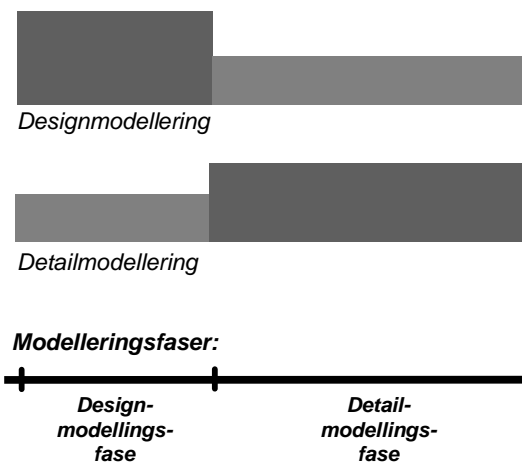
Modelleringsfaser:



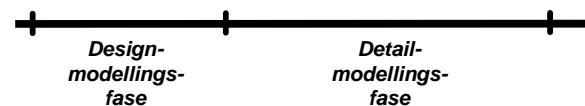
Figur 15 – Identifikation af modelleringsfaser

I det følgende bliver kun designmodellering og detailmodellering behandlet. Det bliver altså antaget at funktionsmodellering er gennemført og de funktionelle krav til rum og konstruktioner er identificeret og specificeret.

Ligeledes vil de efterfølgende faser i bygningens levetid kun blive betragtet i forbindelse med illustrationer af, hvad bygningsmodeller kan bruges til.



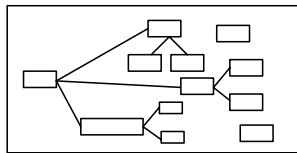
Modelleringsfaser:



Figur 16 – Det følgende omfatter kun designmodellering og detailmodellering

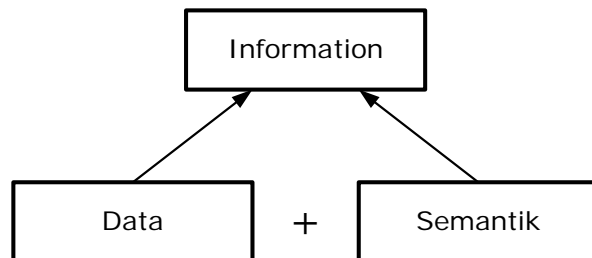
3. Fundamentale forhold om bygningsmodeller

Computerbaserede modeller opbevares i computerhukommelsen som *datastrukturer* (se Figur 17 som illustration). En datastruktur består af *data-objekter* med *data-attributter* og *referencer* til andre data-objekter. Referencerne implementerer de tidligere omtalte relationer mellem model-objekterne (se Figur 3).



Figur 17 – Struktur med data-objekter og referencer

En specifikation af en datastruktur kaldes en *datamodel*, indeholdende en syntese-model med identifikation, definition og specifikation af *objekt-typer*, der er således er en beskrivelse, hvorfra individuelle objekter kan genereres efter behov. IFC er et eksempel på en datamodel. Et af de vigtigste krav til en datamodel er at den er ikke-redundant, så ingen dataværdier findes mere end én gang. For at sikre dette skal modellen udvikles med identifikation af data og betydningen af disse, det semantiske indhold (se Figur 18). Derfor er en informations-model grundlaget for en datamodel.



Figur 18 – Information = data + semantik

En computerbaseret model er karakteriseret som *objekt-orienteret*, hvis den ud over data-attributter også indeholder metoder, der kan udføre operationer på datastrukturerne og det udtrykkes på den måde at objekterne sender meddelelser til hinanden. Derved kan modellen i højere grad ligne virkelighedens levende organismer³. I det følgende benyttes udelukkende betegnelsen *objektbaseret*.

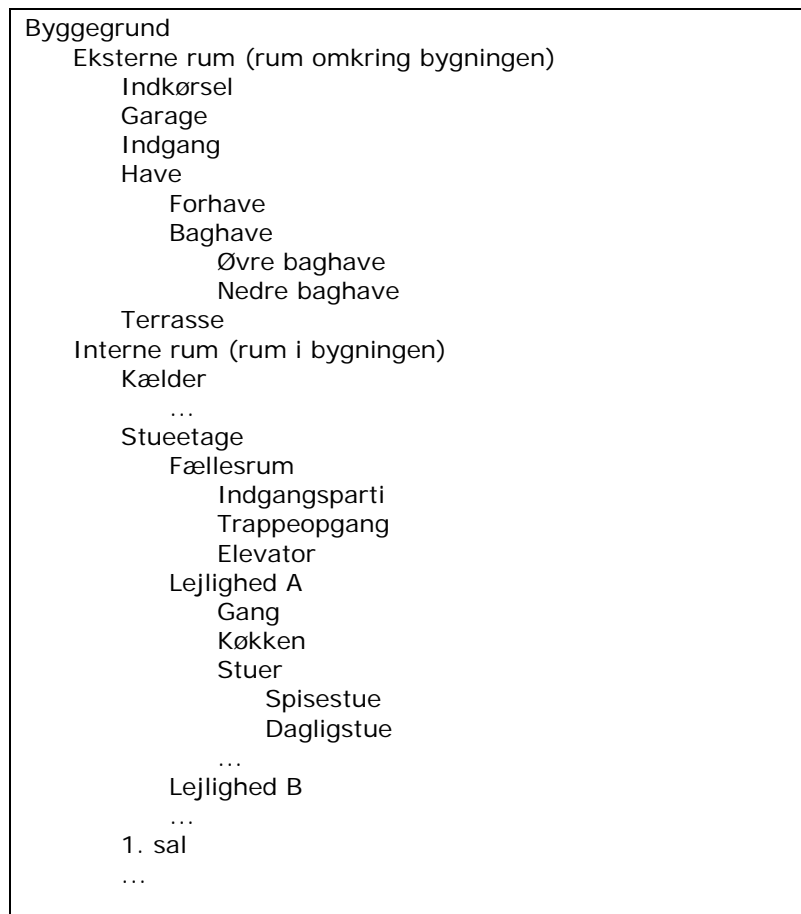
3.1 Bygningsmodellers objekter og strukturer

Som nævnt består bygningsmodeller overordnet af model-objekter, der repræsenterer brugsrum og konstruktioner. Derudover indeholder bygningsmodeller objekter til at repræsentere forskellige strukturer. En af disse strukturer er den velkendte hierarkiske struktur, der kan benyttes i mange sammenhænge. For eksempel kan der med fordel opbygges hierarkiske strukturer over brugsrum og tilsvarende strukturer over konstruktioner. Hermed tænkes som regel på kompositionshierarkier, hvor hver komponent i hierarkiet på den ene side kan opfattes som en del af en større komponent og på den anden side kan opdeles i mindre komponenter. Komponenterne på laveste niveau i hierarkier kaldes *elementer*⁴.

³ Sådanne objekter bliver derfor ofte omtalt som *intelligente* men det skal understreges, at der kun er tale om *kunstig intelligens*.

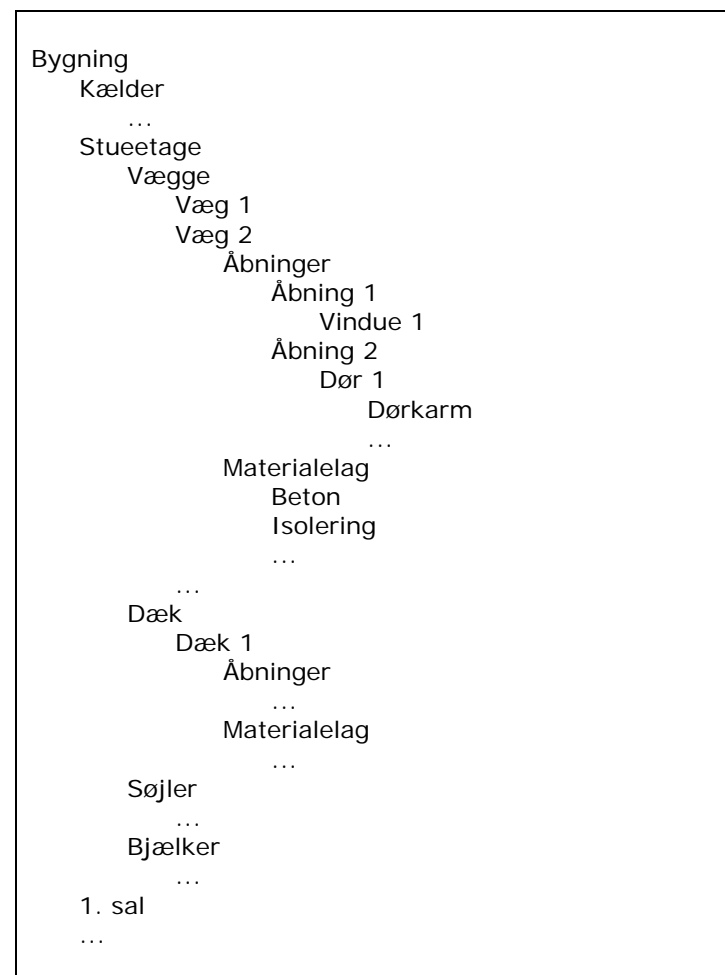
⁴ Betegnelsen element bliver benyttet i mange modelleringsværktøjer og ligeledes i IFC. Dette indikerer tydeligvis en nedefra-op tankegang. Som tidligere nævnt benyttes i denne rapport betegnelsen komponent eller del for at understrege, at modellering skal betragtes ud fra både en oppefra-ned tankegang og en nedefra-op tankegang.

Et hierarki af brugsrum er vist i Figur 19. Det ses at den samlede byggegrund er roden i træstrukturen og at hovedopdelingen er de eksterne og de interne rum.



Figur 19 – Et hierarki af brugsrum set ud fra et funktionssynspunkt

Enhver bygningskonstruktion kan også vises i en hierarkisk struktur som eksempelvis i Figur 20, hvor opdelingen inden for hver etage er foretaget efter et produktsynspunkt.



Figur 20 – Et hierarki af bygningskomponenter

Ud over sådanne hierarkiske strukturer kan der i bygningsmodeller dannes en række andre strukturer, hvor komponenter er relateret til hinanden efter andre kriterier. De mest oplagte sammenhænge er de, der fremkommer ved at bygningsdele fysisk støder op til hinanden og ved at interne brugsrum er omgivet af bygningsdele. I forhold til de hierarkiske strukturer er her tale om mere tværgående relationer.

Modelobjekter kan også relateres til hinanden i *samlinger* af objekter til forskellige formål. For eksempel kan det være hensigtsmæssigt at samle alle vinduer af én slags i en samling, så disse kan behandles under et.

3.2 Oprettelse af bygningsmodel-objekter

Bygningsmodellens objekter kan oprettes tidligt i modelleringsprocessen ved hjælp af modelleringssoftware. Typisk fokuseres her på geometrien af bygningen og model-objekterne skabes så snart geometrien er fastlagt. Moderne software arbejder med tredimensionel (3D) geometrirepræsentation og alle præsentationer af objekterne på computerskærmen eller på udskrifter er således projektioner af 3D til 2D⁵. Disse softwareprodukter tilbyder som regel objektbiblioteker at tage udgangspunkt i.

Alle softwareprodukter har internt deres egne repræsentationer af bygningsmodeller og har kun implementeret afgrænsede dele af bygningsmodeller. I modsætning hertil er den før omtalte internationale standard IFC meget komplet. Den underbygger ideen om en samlet model, der kan benyttes over det meste af modelleringsforløbet som illustreret i Figur 5 og Figur 21. Mange softwareleverandører kan læse IFC-filer men kan kun udtage en del af oplysningerne og tilsvarende kan kun dele af den interne repræsentation udtrækkes til en IFC-fil.

⁵ Modellering med denne type CAD software bliver ofte betegnet 3D modellering men denne betragtningsmåde er kun én side af bygningsmodellering.

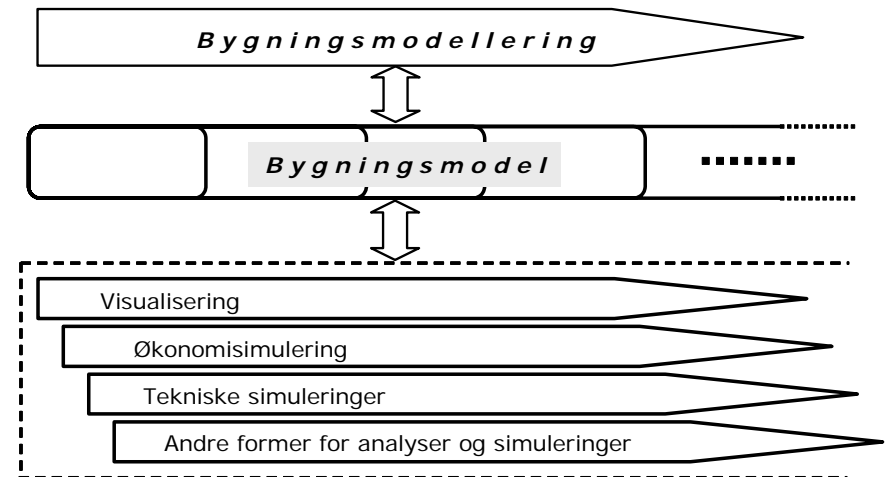


Figur 21 – Én samlet bygningsmodel til anvendelse gennem hele modelleringsprocessen

I resten af dette og i de følgende to kapitler bliver opbygning og anvendelsen af én samlet bygningsmodel betragtet som grundlaget bygningsmodellering.

3.3 Udnyttelse af bygningsmodeller

På alle tidspunkter kan en bygningsmodel benyttes som grundlag for dataudtræk til præsentation, visualisering, analyse og simulering som illustreret i Figur 22. Nogle af disse operationer er tilgængelige i modelleringssoftwaren men som oftest skal der anvendes separate softwareprodukter. Ideelt bør dataudtræk kunne formuleres og gemmes på en måde, så de til enhver tid kan genskabes.

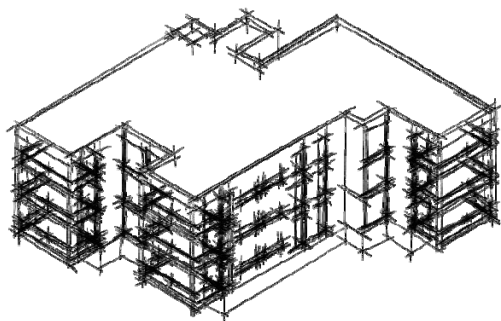


Figur 22 – Dataudtræk fra bygningsmodellen kan foretages samtidig med bygningsmodellering

Modeller og delmodeller kan præsenteres på mange forskellige måder afhængig af formålet. Så udtrykket kan være meget forskelligt. Nogle ofte benyttede præsentationsmåder er følgende:

- Augmented reality
- Virtual reality
- "Flyvetur" i modellen
- Stillbilleder
- Skala model
- 3D projektion
- Graphs
- Hierarkier
- Tabeller
- Lister

Blot mht. 3D visualisering kan mange former anvendes. Hvis f.eks. den primære arkitektur skal udtrykkes kan der produceres en graf som vist i Figur 23.



Figur 23– En graf af en bygningsmodel, hvor den primære arkitektur er fremhævet.

Andre eksempler på udvalgte præsentationsformer til specifikke dataudtræk:

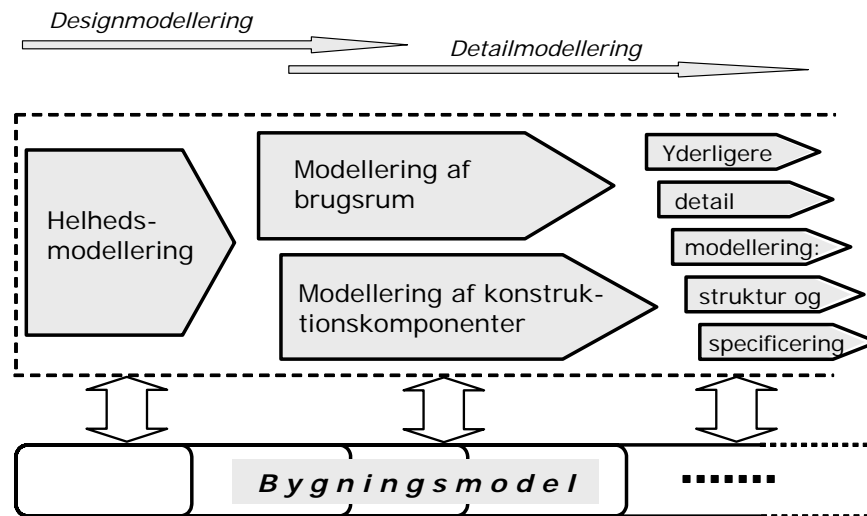
<i>Dataudtræk</i>	<i>Præsentationsform</i>
Rum	hierarki, augmented reality, 3D kasser, 2D arealer
Flugtveje	graf på grundplan
Spændinger (dæk, bjælker, osv.)	farvet graf
Elektriske ledninger	3D "røntgen" graf
Mængder	tabel med summer
Kalkulationer	tabel, histogram, lagkage
Interiør	renderet billede
Bærende konstruktion	bjælker og søjler som linier
Materialelag af vægge	2D tværsnit

Figur 24– Eksempler på dataudtræk og præsentationsformer

4. Hovedaktiviteter i bygningsmodellering

Som tidligere nævnt afgrænses det følgende til kun at omhandle design modellering og detailmodellering. Dermed forudsættes, at der forud er gennemført en funktionsmodellering, hvorved krav vedrørende bygningens funktion foreligger som specifikationer.

En primær indledende aktivitet i designmodellering er at få skabt den første version af bygningsmodellen. Denne aktivitet er omfattet af den modelleringsaktivitet, der her er betegnet *helhedsmodellering* (se Figur 25), hvor der med et minimum af ressourcer (jævnfør Figur 8 og Figur 9) og under hensyntagen til alle opstillede krav opbygges en første konsistent bygningsmodel. Helhedsmodellering er kendetegnet ved at være en højst iterativ og integreret modelleringsproces. Helhedsmodellering kan fokusere forskelligt men selv med et valgt primært fokus skal sekundære emner også overvejes.



Figur 25 – Hovedaktiviteter i bygningsmodellering

Denne første model bør omfatte alle overordnede designforslag i afbalancerede løsninger, så disse har stor holdbarhed i efterfølgende modelleringsaktiviteter. Dvs. at mange betydende beslutninger bliver truffet men en række konkrete detail-løsninger endnu ikke er fundet.

Allerede denne første bygningsmodel kan benyttes til visualisering og til en lang række analyser og simuleringer. Derved kan bygningens ydeevne efterprøves på en række punkter.

Efter helhedsmodelleringen, hvor rum og konstruktioner er fastlagt overordnet, skal der sættes fokus på fortsat design og detaljering af modellen. Her er det vigtigt at forholde sig til opdelingen i de to komplementære rum, som vist i Figur 13, så to relativt parallelle aktiviteter kan identificeres som vist i Figur 25: *modellering af brugsrum* og *modellering af konstruktionskomponenter*. Sammenholdt med helhedsmodellering udgør disse tre hovedaktiviteter den primære del af den tidlige bygningsmodellering. Den efterfølgende videre detaljering er kendetegnet ved at foregå på isolerede områder men dog gerne på tværs igennem bygningsmodellen. Disse modelleringsaktiviteter kan være mange og kan som regel udføres med stor grad af samtidighed.

4.1 Indholdet i helhedsmodellering

Helhedsmodellering kan struktureres forskelligt og de indgående aktiviteter kan vægtes forskelligt men overordnet kan indsatsen fokuseres på tre områder: brugsrum, konstruktioner/installationer og ydeevne. Det er dog vigtigt, at alle fokusområder ses i sammenhæng.

4.1.1 Brugsrum

Som nævnt kan det totale rum inddeles i ydre rum og indre rum, hvor bygningskonstruktionen også kan identificeres som en særlig slags rum. Alle rum kan underopdeles og dermed kan mængden af rum opstilles i en hierarkisk oversigtsstruktur som vist i afsnit 3.1 og eksemplet i Figur 19. Det skal understreges, at et hierarki af rum kun viser del-helheds relationer. Andre illustrationer kan også være nyttige at arbejde med, f.eks. grundplaner (se Figur 26), hvorpå adgangsveje, flugtveje, og lign. kan vises.



Figur 26 – Grundplan af brugsrum i en bygning

4.1.2 Helhedsmodellering – Konstruktion

En anden side af helhedsmodellering omfatter bygningskonstruktioner (inklusive installationer) og som nævnt kan disse også opdeles og vises oversigtligt i en hierarkisk struktur som vist i afsnit 3.1 og eksemplet i Figur 20. I helhedsmodellering er det normalt kun nødvendigt, at arbejde med de øverste niveauer i denne struktur.

Denne struktur viser kun del-helheds relationer og det er vigtigt at arbejde med mange andre (tværgående) relationer. For eksempel har mange installationer relationer til vægge og dæk.

4.1.3 Helhedsmodellering – Ydeevne

En tredje side af helhedsmodellering indeholder modellering af bygningens ydeevne som modsvar til kravene, der er opstillet i funktionsmodelleringen. Da forskellige værdier af bygningens ydeevne kan bestemmes af de attributter, som bygningsmodellens objekter indeholder, er det vigtigt at forholde sig til en specifikation af disse ned til en passende grad af nøjagtighed.

På basis heraf kan mange softwareprodukter til analyse og simulering foretage funktionsanalyse på basis af endog meget få attributter. F.eks. kan software til energianalyse opstille meget værdifulde oversigter baseret på grove bygningsmodeller suppleret med relativt få oplysninger om materialer.

4.1.4 Resultatet af helhedsmodelleringen

I den resulterende bygningsmodel bør der altså være truffet overordnede beslutninger om indholdet. Brugsrum er identificeret, placeret og defineret, hovedgeometrien er fastlagt og de synlige materialer er valgt. Den bærende konstruktion er også fastlagt og overordnede valg af installationer er foretaget. Hvor langt denne detaljering skal foretages må naturligvis i hvert enkelt tilfælde afhænge af behovet for nøjagtighed.

Det er vigtigt at den basale model kan udgøre et godt grundlag for den videre modellering, så rammerne er fastlagt og at der med stor sandsynlighed ikke er behov for at udvide disse rammer. Derfor bør alle overordnede forhold være behandlet og der skal træffes afbalancerede beslutninger, så eventuelle modstridende hensyn er vurderet.

Mange softwareprodukter til modellering er ikke velegnede til helhedsmodellering og kan typisk ikke understøtte modellering på højere abstraktionsniveauer. De kan ikke opsamle beslutninger på alle felter og kan ikke operere med flere

alternative løsninger på én gang. En stor del af dem er næste udelukkende orienteret mod geometrisk konstruktionsmodellering og modellering af rum er ofte dårligt understøttet.

4.2 Efterfølgende design- og detailmodellering

Det er fundamentalt for bygningsmodellering, at den efterfølgende design- og detailmodellering kan opdeles i to parallelle aktiviteter (se Figur 25): modellering af brugsrum og modellering af konstruktioner/installationer. Disse to modelleringsskemaer er kun løst koblet og adskillelsen bygger på det grundlæggende faktum, at der er tale om komplementære rum.

4.2.1 Brugsrum

Modellering af brugsrum omfatter både eksterne og interne rum, hvoraf de interne rum som regel tildeles den største opmærksomhed (se Figur 27).



Figur 27 – Modellering af brugsrum

Modellering af de interne rum omfatter placering, størrelse, form, farve, osv. af eksempelvis følgende komponenter:

- Åbninger
- Vinduer
- Døre
- Overflader, farver
- Kabinetter
- Sanitet
- Radiatorer, konvektorer
- El-stik, antennestik, haner for vand og gas, afløb, osv.
- Belysning, udstyr
- Akustiske arrangementer
- Paneler
- Gardiner
- Møblement
- Gelændere
- Osv.

4.2.2 Konstruktioner og installationer

Modellering af bygningens konstruktion og de indeholdte installationer omfatter identifikation og specifikation samt underopdeling af mange forskellige slags komponenter.

- Primær konstruktion, bærende konstruktion
- Sekundær konstruktion
- Tagkonstruktion
- Varmeinstallationer
- Ventilationsinstallationer
- Vanddistributionsinstallationer
- Kloakinstallationer
- Elektriske- og elektroniske installationer

Vægge og dæk bliver som regel først modelleret som massive konstruktioner uden særlig hensyntagen til præcise dimensioner og underopdeling. Disse konstruktioner bliver derfor gradvist modelleret mere detaljeret (se Figur 28).



Figur 28 – Modellering af vægge og dæk til større detaljeringsgrad

4.2.3 Objekter i både brugsrum og konstruktion

Vinduer, døre og lign. kan betragtes som hørende til begge modelleringsaktiviteter, så de kan håndteres forskelligt fra projekt til projekt. I nogle projekter kan de modelleres som en del af konstruktionen mens de i andre projekter kan modelleres i tilknytning til brugsrummene.

En passende opdeling kan være en blanding, hvor størrelse, form, farve og lign. mest naturligt hører til modellering af rummene mens modellering af attributter for f.eks. termiske og akustiske forhold mest passende hører til modellering af konstruktionen.

4.2.4 Detaljeringsgrader

Det er fundamentalt for den ovenfor beskrevne hovedopdeling af modelleringsaktiviteter, at identifikation af detaljeringsniveauer bliver opdelt i forhold til de to parallelle modelleringsaktiviteter. Niveauerne kan desuden være forskellige fra projekt til projekt. Hvis der f.eks. skal udarbejdes visualiseringer tidligt i forløbet, må der nødvendigvis først sættes mest fokus på modellering af rum.

Eksempel på identificerede detaljeringsniveauer vedrørende brugsrum:

- Niveau 1: Modellen er resultatet af helhedsmodellering
- Niveau 2: Åbninger med vinduer og døre er placeret
- Niveau 3: Gelændere, kabinetter, sanitet, konvektorer er defineret og placeret
- Niveau 4: Overflader, farver, osv. er defineret og placeret
- Niveau 5: Belysning, møblement, paneler, gardiner, osv. er defineret og placeret

Eksempel på identificerede detaljeringsniveauer vedrørende konstruktioner og installationer:

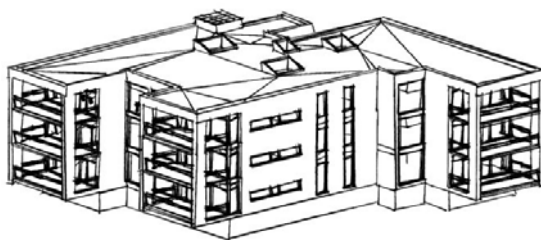
- Niveau 1: Modellen er resultatet af helhedsmodellering
- Niveau 2: Den primære geometri af modellen er defineret
- Niveau 3: Den bærende konstruktion er modelleret
- Niveau 4: De primære installationer er modelleret
- Niveau 5: Bygningsprodukter er defineret og placeret
- Niveau 6: Modellen er fuldstændiggjort for nøjagtige mængdeudtræk og kalkulationer
- Niveau 7: Modellen er fuldstændiggjort med detaljer for bygningens opførelse

5. Andre forhold vedrørende bygningsmodellering

I forbindelse med modellering bør der som nævnt identificeres flere abstraktionsniveauer i to dimensioner: struktur og attributter og den foranstående opstilling af forslag til hovedaktiviteter i design modellering og detailmodellering er udviklet som generelle forskrifter. De nærmere overvejelser bør derfor resultere i projektafhængige fremgangsmåder, der bl.a. kan inddrage hensyntagen til, om der i forvejen findes et grundlag fra tidligere eller om der er tale om helt nye bygninger.

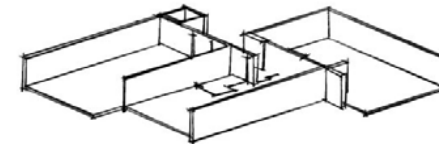
5.1 Modelleringsforløb

Et modelleringsprojekt kan opdeles i aktiviteter på mange måder. Typisk vil hovedfaserne i praksis være relativt afhængig af udarbejdelse af grundlag for indhentning af godkendelser fra myndigheder og de foranstående forskrifter skal således indarbejdes heri.



Figur 29 – Fokus på bygningens ydre form

Yderligere kan der være behov for at sætte særlig fokus på forskellige forhold. Typisk bliver der ofte arbejdet meget med arkitekturen (se Figur 29) men det kan f.eks. være nok så væsentligt at kikke nøjere på den bærende konstruktion (se Figur 30).



Figur 30 – Fokus den bærende konstruktion

5.2 Identifikation af modelobjekter

Det er som nævnt vigtigt meget tidligt i forløbet at arbejde med brugsrum forud for eller samtidig med arbejdet konstruktioner og installationer. Arbejdet kan startes allerede i funktionsmodellering men det vil blive konkretiseret under helhedsmodelleringen og med fordel blive strakt langt ind i designmodellering og detailmodellering. Her kan modellering af brugsrum som nævnt forløbe parallelt med modellering af konstruktioner og installationer (se Figur 31).

Rum: overflader, belysning, kabinetter, møblement, osv.

Komponenter: underkomponenter, struktur, attributter, osv.

Figur 31–Modellering af parallelle aktiviteter vedrørende brugsrum og konstruktioner/installationer

Disse anbefalinger forudsætter som nævnt, at der arbejdes med én samlet bygningsmodel, helst en modelserver, hvor alle objekterne i bygningsmodellen er tilgængelige for flere brugere.

Men anbefalingerne skal desuden orienteres mod anvendelse af software produkter, hvilket specielt har virkning for arbejdet med brugsrum. Meget modelleringssoftware understøtter ikke i særlig høj grad denne form for modellering og det gælder også de to værktøjer, der er omtalt i Appendiks A.

De fleste værktøjer er orienteret mod arbejdet med konstruktioner og installationer. Når sådanne objekter skal dannes i modellen, er det meget nyttigt at kunne tage udgangspunkt i et bibliotek af forskellige typer af objekter. Herved bliver der samtidig oprettet et sæt af attributter i hvert objekt og disse får tildelt nogle startværdier. Disse værdier kan når som helst ændres efter behov (parametriske objekter). Ofte bliver først de geometriske attributter specificeret men det kan være hensigtsmæssigt at tage stilling til andre værdier ved samme lejlighed.

Alle objekter i en bygningsmodel bliver entydigt identificeret af det anvendte modelleringssoftware og identifikatorer⁶ bliver bl.a. brugt internt, når objekter skal referere til hinanden. I tillæg til mere systemorienterede identifikatorer kan det være hensigtsmæssigt at have andre identifikatorer som f.eks. numre eller navne, der er mere egnede for menneskelige aktører. Ved den senere detaljering af modeller er det derfor væsentligt at skelne mellem om de eksisterende objekter kan bevares (med eventuelle ændringer) eller de skal udskiftes med nye objekter.

5.3 Underopdeling af modelobjekter

Når konstruktionsobjekter er dannet fra starten, kan det være hensigtsmæssigt at oprette dem så store som muligt og vente til senere med at foretage opdeling i underobjekter. En facadevæg kan eksempelvis blive oprettet gående fra hjørne til hjørne og fra fundament til tag. En del af bygningsmodellens

detaljering omfatter altså en underopdeling af sådanne objekter. Senere igen kan de først benyttede objekter blive erstattet af modeller af specifikke byggeprodukter. Sådanne modeller kan og bør i øvrigt indeholde et stort antal attributter, der er oprettet af producenterne.

Der er en række andre forhold vedrørende detaljering af modelobjekter mht. både struktur og attributter. En del specielle problemer kan opstå i forbindelse med underopdeling af vægge, hvor de forskellige lag af materialer skal flettes sammen på den rigtige måde. Det er ligeledes vigtigt, at modelleringsværktøjerne understøtter her. Endvidere er det vigtigt på en nem måde at kunne indlægge værdier af andre attributter end de geometriske. Disse værdier er nyttige i de følgende faser med opførelse af bygningen og senere igen ved drift og vedligeholdelse af bygningen.

5.4 Selektion af model-objekter

Ved arbejdet med bygningsmodeller er der ofte behov for at selekttere objekter på kryds og tværs fra modellen. Det gælder f.eks. når visse attributværdier skal indskrives eller når visse objekter ønskes vist separat. Derfor er det meget ønskeligt, at værktøjerne kan understøtte sådanne operationer.

Der er mange måder, hvorpå dette kan foregå. F.eks. kan der ske en selektion ved at vælge objekter i den grafiske visning (3D eller 2D). Alternativt kan der opstilles nogle kriterier, så selektionen sker ved at værktøjer sammenligner alle objekter med de opstillede kriterier. En god støtte gives, hvis selektioner kan gemmes og kaldes frem på ethvert tidspunkt. En selektion, der er gennemført på basis af opstillede kriterier, kan betragtes som en dynamisk selektion, der kan iværksættes på anfordring. En sådan selektion vil da altid blive gennemført i forhold til de aktuelt forekommende objekter i modellen.

⁶ I IFC er en sådan identifikator kaldt Global Unique Identifier (GUID).

6. Konklusion

Bygningsmodellering er en særlig form for systemmodellering. Derfor kan mange principper, begreber og fremgangsmåder fra systemmodellering anvendes ved bygningsmodellering. Men der er også specielle forhold at tage i betragtning, hvorfor det er nødvendigt at udvikle specielle fremgangsmåder ved bygningsmodellering.

Selv om en del systembegreber kan overføres direkte til bygningsmodellering, så er der en række begreber inden for bygningsområdet, der skal tages i betragtning. Men i sammenhæng med computerbaseret bygningsmodellering, som er et relativt nyt område, er der nogle traditionelt anvendte begreber, der nu er uhensigtsmæssige. Derfor bør nye begreber også introduceres.

Ud fra en generel forståelse af systemer, systemmodeller og systemmodellering kan bygningsmodellering opfattes som syntese-modellering på flere abstraktionsniveauer. På højeste abstraktionsniveau er der tale om en grov struktur af objekter og med relativt få attributter. På de laveste abstraktionsniveauer er strukturen detaljeret og mange attributter er oprettet og specificeret.

I overensstemmelse hermed er der identificeret tre former for modellering: funktionsmodellering, designmodellering og detailmodellering. Yderligere er der identificeret tre korresponderende hovedfaser af alle projekter.

Bygningsmodellering indeholder identifikation og arbejde med rum som noget særligt. At stille rum til rådighed er normalt det primære formål med bygninger, så muligheden for modellering af rum løsrevet fra modellering af konstruktioner og installationer er specielt for bygningsmodellering.

Når der skal allokeres ressourcer til computerbaserede modelleringsaktiviteter, er det ofte vigtigt at planlægge det godt. Det er særligt begrundet i, at computerbaserede modeller giver mulighed for visualisering og andre former for analyser. På baggrund heraf og at det også er vigtigt at træffe de korrekte beslutninger i starten af et modelleringsforløb er der introduceret tre hovedaktiviteter i det tidlige forløb af bygningsmodellering.

Den første er betegnet helhedsmodellering, en meget iterativ og integrerende modelleringsaktivitet, hvor den første version af bygningsmodellen bliver produceret. Sigtet er at bruge en minimal mængde ressourcer men på en måde, så det med rimelig sikkerhed kan vises, at de opstillede funktionskrav overholdes.

De to andre hovedaktiviteter indeholder separat modellering af brugsrum og konstruktioner/installationer. Begge aktiviteter følger efter helhedsmodellering men kan i høj grad betragtes som tidsmæssigt parallelle aktiviteter. Disse aktiviteter indeholder en blanding af designmodellering og detailmodellering. Herefter kan den resterende detailmodellering gennemføres i mange mindre og parallelt løbende aktiviteter indtil det krævede niveau.

På basis af de opstillede ræsonnementer, udsagn og forslag kan det konkluderes at bygningsmodellering har specielle karakteristika men kan også ses som en speciel form for systemmodellering, hvor det er hensigtsmæssigt at bringe generelle systemteoretiske begreber og fremgangsmåder i anvendelse.

Appendiks A – Modellering i ArchiCAD (AC) og Architectural Desktop (ADT)

I dette appendiks beskrives og sammenlignes kort de to CAD-programmer: ArchiCAD (versionerne 8 og 9) og Architectural Desktop (versionerne 2005 og 2006).

De to programmer er forskelligt strukturerede idet AC er en database implementering dvs. at hele bygningsmodellen er gemt i én fil, mens ADT er en filsystem implementering med et eksternt referencesystem, hvor adskillige separate filer er lænket til hinanden.

A.1 Modelleringsprocessens hovedaktiviteter

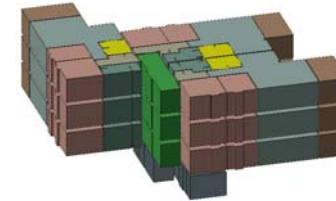
Som nævnt foran bør software til bygningsmodellering kunne støtte arbejde med såvel modellering af rum såvel som konstruktioner og installationer. Efter undersøgelse af de to programmer, må det konstateres, at det her ikke er muligt at udføre modellering af rum på en hensigtsmæssig og optimal måde.

A.1.1 Rummodellering

De to programmer har separate værktøjer til modellering af rum: Zone Tool i AC og Space Tool i ADT men disse kan udelukkende benyttes i forbindelse med visualisering.

Med Zone Tool i AC er det ikke muligt at påbegynde rummodellering ved projektstart. Zone Tool kan først anvendes når vægge som del af konstruktionsmodelleringen er udført. Rummodellen kan med Zone Tool vises i 3D (se figur A.1).

Space Tool i ADT muliggør rummodellering fra projektstart. De modellerede rum kan ikke vises i 3D på en måde så rummets vægge kan ses.



Figur A.1 – 3D visning af rummodel

A.1.2 Konstruktionsmodellering

Konstruktionsmodellering består af modellering af de basale bygningsobjekter såsom vægge, gulve, lofter, døre, vinduer, åbninger, søjler, bjælker, lamper osv.

Da de to værktøjer begge er udviklet til brug for konstruktionsmodellering, virker de hensigtsmæssige hertil og ligner meget hinanden.

A.2 Bygningsmodelleringsprocessens stadier

Gennem konstruktionsmodelleringsprocessen undergår bygningsmodellen forskellige stadier fra den grove model til den detaljerede model.

Den grove bygningsmodel udgøres af programmernes egne generiske objekter der anvendes til eksempelvis vægge, dæk, vinduer, døre osv.

Den detaljerede bygningsmodel kommer mere og mere til at svare til virkelighedens bygning. Eksempelvis ændres en ydervæg fra at være et simpelt generisk masseobjekt til at bestå af flere materialelag så som formur, isolering og bagmur.

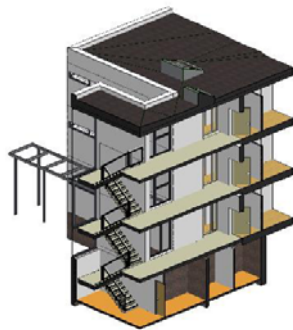
I AC foregår materialelagdelingen af f.eks. et ydervægsobjekt som en detailbeskrivelse af dette, mens ADT giver mulighed for en geometrisk opdeling. Denne forskel betyder at ADT kan modellere forskellige højder af bagmur og formur.

A.3 Særlige modelleringsmuligheder

A.3.1 Isolering af deludsnit i modellen

Under bygningsmodelleringen er det hensigtsmæssigt at kunne arbejde med mindre udsnit af denne. Dette skyldes bl.a. at håndtering af en kompleks bygningsmodel kræver meget computerkraft.

AC har flere forskellige værktøjer og metoder hertil, der enten kan anvendes enkeltvis eller i kombination med hinanden. Det første er 'Marquee' værktøjet. Med dette skæres udsnit af modellen ud, så det kun er hvad der ligger indenfor eller udenfor, der ses og kan arbejdes med (se figur A.2). Ligeledes bestemmes via 'Marquee' om isoleringen af del af bygningen skal dække samtlige etager eller kun een af bygningens etager.



Figur A.2 – Marquee værktøjet

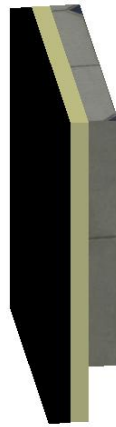
Et andet værktøj er anvendelsen af lag og lagkombinationer. Derved er det muligt at isolere objekter ved at slukke og tænde de lag de ligger på. En tredje mulighed er funktionen 'Elements to Show in 3D', hvorigennem det er muligt at udvælge de objekttyper der ønskes vist. Her vælges til eller fra baseret på objekttype for eksempel vægge, dæk, bjælker osv. og der kan yderligere vælges en eller flere etager. 3D Cutaway er endnu en metode til at isolere dele af modellen ved indsættelse af skæreplaner.

ADT har færre af disse værktøjer til rådighed. Struktureringen af modellen i filer gør, at en meget simpel måde at isolere på ligger i at slukke og tænde for lag og i at medtage en eller flere af modellens filer. Man vælger så at åbne enkeltfiler eller kombinationer af filer og tænde og slukke for lag. Lag kan desuden vises sammen med 'Filter Groups', der minder om lagkombinationer i AC. Endelig er der anvendelsen af dynamiske horisontale og vertikale snit. Flere metoder kan kombineres og mens de anvendes, kan der fortsat editeres i bygningsmodellen.

Herudover kan anvendes 'Model Viewer' der fungerer ved at man kan udvælge de objekter man ønsker at få vist. 'Model Viewer' udelukker editering.

A.3.2 Vægges opdeling i materialelag

Som nævnt ovenfor er materialelagene i den detaljerede model opbygget forskelligt i AC og ADT. Den geometriske opdeling i ADT muliggør individuelle højder på hvert enkelt lag (se figur A.3) mens materialelagene i AC kun repræsenteres ved at foretage indstillinger af vægges bestanddele.



Figur A.3 – Forskydning af materialelag i en væg

A.3.3 Indsættelse af fritstående vinduer og døre

Almindeligvis er bygningsmodelleringsværktøjer udviklet så vinduer og døre kun kan indsættes direkte som dele af væg-objekter, svarende til at vinduer og døre fortrænger en del af de omgivende vægge. Dette er tilfældet i både AC og ADT.

Men i ADTs er der dog ekstra mulighed for at indsætte vindues og dørpartier ('Window and Door Assemblies') uden der først skal oprettes et væg-objekt herfor. Denne mulighed er hensigtsmæssig i mange modelleringssituationer.

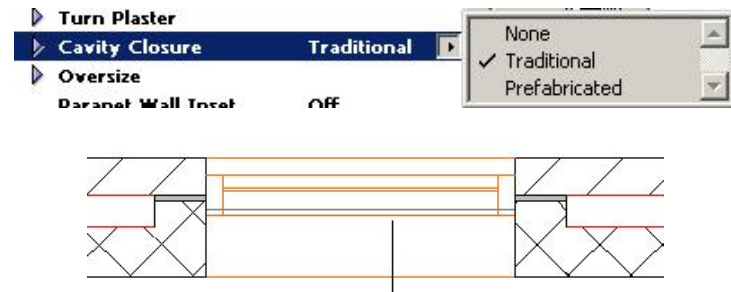
A.3.4 Vægafslutninger ved vinduer, døre og åbninger

Afslutning af vægge omkring vinduer, døre og åbninger kaldes i AC for 'Cavity Closure' og i ADT for 'End Caps'.

'Cavity Closure' er tilknyttet indstillingsmulighederne for de enkelte vindues-, dør- og åbningsobjekter. Indstillingsmulig-

hederne består i at vælge mellem prædesignede løsninger (se figur A.4).

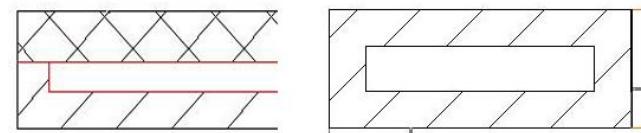
'End Caps' i ADT er ikke tilknyttet vindues-, dør- eller åbningsobjekterne men kan udføres som en individuelt geometrisk modellering af væg-objekter.



Figur A.4 – 'Cavity Closure' i AC

A.3.5 Vægafslutninger ved fritstående ydervægge.

Afslutning af fritstående ydervægge (se figur A.5) sker i AC gennem brugen af et særligt 'Wall End' værktøj, hvori der ligger visse muligheder for individualiseret design. I ADT anvendes 'End Caps' til individuelt design af væg-objekter.



Figur A. 5 – Afslutninger af fritstående ydervægge

A.3.6 Speciel design af vinduer og døre

I begge værktøjer findes et stort antal generiske dør og vinduesobjekter med flere muligheder for indstillinger af form, sprosseinddeling, håndtag osv.

I AC ligger desuden gennem programmering i den åbne sprog GDL muligheden for at udforme helt individuelle og specielle objekter. I ADT ligger tilsvarende generiske vinduer og døre, og 'Door/Window Assemblies' med muligheder for individuelle valg. 'Window/Door Assembly' værktøjet giver desuden mulighed for en vis individuel udformning af objekter af vindues- og dørpartier.

A.4 Specielle forhold

A.4.1 Væg-dæk tilslutninger

Modellering af tilslutninger mellem vægge og dæk giver særlige problemer. (I den virkelige bygning hviler dækket som regel på ydervæggens bagmur.)

I AC er det ikke muligt at modellere denne detalje korrekt. Som omtalt er lagene i vægge og dæk kun udtryk for en detailindstilling og tilslutninger kan derfor kun modelleres i 3D ved at dækket støder mod ydervægens inderside så det "svæver" frit.

I ADT er der større muligheder for at modellere detaljen fordi ydervæggens materialelag kan opdeles geometrisk. Bagvæggen kan derved forskydes, så dækket kan forøges ind over bagmuren. I dækværktøjet foreligger ikke samme mulighed for at forskyde materialelagene.

A.4.2 Tagkonstruktion

Flade tage med hældninger mod et eller flere tagedløb kan være svære at udføre. I AC kan dette ske gennem anvendelsen af 'Mesh' værktøjet der herefter omdannes til tagobjekt. Det kan i ADT ikke på en enkelt måde lade sig gøre at lave en tagflade med hældning.

A.4.3 Hjørnevinduer

I AC findes et hjørnevinduesværktøj der fungerer perfekt. Hjørnevinduet er et objekt som alle andre vinduesobjekter og, når hjørnevinduet er oprettet, kan det flyttes og rettes til.

I ADT findes ikke et hjørnevinduesværktøj. Derfor udføres hjørnevinduer enten ved at indsætte to vinduer der støder sammen i hjørnet eller ved først at lave et hul i hjørnet, hvor de to vægge støder sammen og derefter indsætte fritstående vinduesobjekter. Problemet med den sidste metode er at hullet i ydervæggene laves med et masseelement (kasse), der fratrækkes væg-objekterne. Når hullet er lavet kan det ikke flyttes eller på anden måde ændres.

A.4.4 Layout ved print og plot

I AC foregår layoutopsætning ved print og plot i et selvstændigt program 'PlotMaker' og data overføres automatisk mellem AC og 'PlotMaker'. I ADT foretages print og plot direkte i ADT og opsætningen foretages med 'Paperspace'.

A.4.5 IFC import / export

AC er velfungerende mht. såvel IFC import som IFC eksport. Dette skyldes bl.a. at det er en databaseimplementering, hvor

modellen er repræsenteret i én fil og hvor programmets forskellige versioner i stigende grad er tilpasset IFC.

ADT er ikke programmeret eller struktureret specielt i forhold til IFC og moduler til import/eksport af IFC findes som udgangspunkt ikke i ADT. Der kan dog tilføjes et IFC-modul fra det separate firma Inopso. IFC import virker ikke helt gennemført.

A.5 Erfaringer fra 3D modellering

Generelt er det vigtigt at bruge værktøjerne på en måde så efterfølgende ændringer og editeringer kan udføres på enkleste og nemmeste måde.

1. Det er vigtigt fra starten at beslutte sig for modellens struktur og opbygning. Dette gælder f.eks. 'Levels/Stories' og højderne af disse. Det er særlig vigtigt i ADT omkring projektstrukturen pga. referencerne til eksterne filer.

2. Der er vigtigt tidligt at beslutte vedrørende opdeling i hensigtsmæssige dele. Det gælder f.eks. om opdelingen mellem etagerne og hvilke bygningsdele der tilhører hvilke etager.

3. Der er vigtigt at beslutte om ydervæggene fra starten skal opdeles etagevis eller om de skal dække alle etager fra fundament til tag. Opdelingen etagevis er hensigtsmæssig, hvis man vil kunne vise én etage ad gangen. Desuden foretages kalkulation af mængder normalt også etagevis.

4. Der er vigtigt at beslutte om justeringsliniernes placering i ydervægge. Mange gange er den bedste placering på indersiden af ydervæggen. Dette f.eks. fordi man oftest ønsker at lægge bygningens indre periferi fast og senere efter dimensionering af konstruktionstykkelsen lettest kan ændre på denne, så forøgelse/formindskelsen sker udadtil.

5. Taget kan enten placeres på et niveau/etage for sig eller tilhøre den øverste etage. Det sidste vil ofte være nødvendigt at gøre af hensyn til brugen af simuleringsprogrammer.

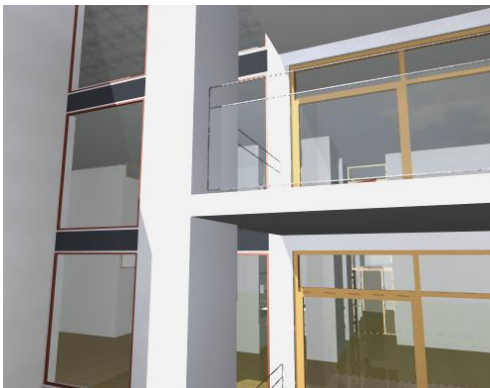
Appendiks B – Dataudtræk fra AC og ADT til visualisering, analyser, mm.

I dette appendiks gennemgås forskellige afprøvninger af dataudtræk fra modeller til visualisering, analyser, simuleringer og tegningsgenerering. De blev enten foretaget direkte i de to programmer eller ved overførsel til andre programmer vha. de to værktøjers egne filformater eller gennem andre filformater, herunder IFC filformatet.

B.1 Visualisering og analyser

B.1.1 Visualisering og animation

I AC foregår visualisering direkte i AC gennem den indbyggede 'Lightworks' via '3D Studio' filformatet. 'Lightworks' giver høj kvalitet af rendering ved brug af 'Radiosity' og 'Ray tracing', eksempelvis ses dette i bløde udtonede skygger og spejlinger i glasflader. Renderingens kvalitet nærmer sig derved det fotorealistiske (se figur B.1). Via '3D Studio' formatet kan desuden foretages kvalitetsrenderinger med 'Autodesk VIZ' ('3D Studio'), der giver tilsvarende kvalitet som 'Lightworks'.



Figur B.1 – Visualisering i AC med 'Lightworks'

I ADT foregår kvalitetsrenderinger via 'VIZ Render' ('3D Studio') der er et selvstændigt program med automatisk dataoverførsel mellem ADT og VIZ. Renderingen er af tilsvarende høj kvalitet som ved AC. De gennemførte afprøvninger viste nogle problemer, hvor baggrunden ikke skjultes bag skillevæggene.

På animationssiden blev to typer af Virtual Reality afprøvet: 'Turntool' og 'VR4Max'.

'Turntool' er et lille dansk program, der kan anvendes som tillægsmodul til 'Autodesk VIZ'. Modellen gemt i 3DStudio filformatet fra ADT blev behandlet med 'Turntool' og blev herefter lagt ud på en web-side. Derfra har alle (også beboere af Sorthøjparken) mulighed for interaktivt at gå gennem området og ind i bygningen efter eget valg eller vælge en forud bestemt rute. Desuden er der mulighed for at vælge forskellige still billeder samt interaktivt at se og bevæge modellen udefra.

Derudover blev en AC model overført i '3D Studio Max' filformat til behandling i 'VR4Max' i Aalborg Universitets VR Media Lab. vist. Med 'VR4Max' kan modellen præsenteres på forskellige medier, bl.a. via flere projektorer i Panorama salen på en buet skærmvæg. Denne visning giver brugeren en stor virkelighedsoplevelse.

B.1.2 IFC-baserede viewere

Der eksisterer forskellige 3D-viewere baseret på IFC data-modellen. En af disse blev anvendt her – den norske producerede 'DDS Viewer'. Vieweren kan vise modellen i en relativ enkel grafik og samtlige objekter kan isoleres og deres egenskabsdata kan præsenteres: Guid, type, navn, dimensioner osv. Desuden kan den vise egenskabsdata, der for eksempel kan anvendes af de analyse- og simuleringssprogrammerne. Ydermere kan Vieweren anvendes til generering af forskellige filformater som

for eksempel '3D Studio' filformatet. DDS vieweren har vist sig som et let anvendeligt program.

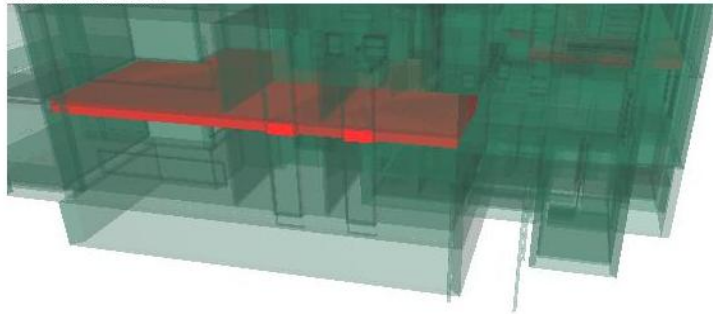
B.2 Modelanalyser og simuleringer

B.2.1 Solibri Model Checker

Et andet analyseprogram baseret på IFC er 'Solibri Model Checker' (SMC) – et relativt avanceret finsk produceret program. Udover at indeholde gode 3D viewer-muligheder med mulighed for at vise isolerede objekter på en tydelig måde kan geometridata og andre data anvendes i SMC til mere avancerede bygningsmodelanalyser. Der er indbygget et antal færdige regelsæt som kan benyttes som grundlag for modelanalysen. Derudover kan egne regelsæt formuleres.

Slab.2.1

The slab footprint contains 15 sections that don't meet walls or other slabs. The total length of these sections is 3.02 m.



Figur B 2 – Solibri modelanalyse

Et regelsæt er en 'BIM Validation Architecture' analyse. For eksempel viser denne analyse bygningsobjekters kollision mellem hinanden, hvor f.eks. døre og huller ikke passer sammen. Resultatet af en analyse er en rapport, der punkt for

punkt beskriver forholdene og hvortil der genereres en graf med farvede markeringer (se figur B.2). SMC blev afprøvet på IFC modeller fra både AC og ADT med meget stor gevinst, idet flere forskellige modelleringsfejl i bygningsmodellerne blev fundet.

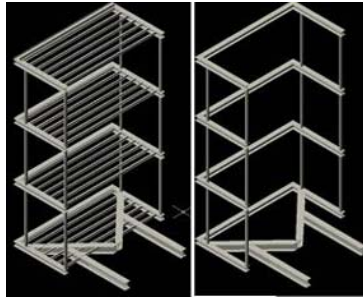
B.2.2 Mængdeberegning og kalkulation

Det valgtes at afprøve mængdeberegning fra ADT-modellen, isoleret på modellens ydervægge. Det ene eksempel foregik direkte gennem ADT's egne kalkulationsmuligheder. Mængderne blev herefter gemt fra ADT direkte i en Excel-fil. Derefter blev Excel regnearket designet som tilbudsark, så der kan indtastes enhedspriser i en separat kolonne og udgiftsberegninger kan genereres automatisk.

Det andet eksempel blev gennemført via IFC filformatet fra AC modellen til programmet Visual Calculation 1.13. Dette program er fortsat under udvikling og viste visse mangler mht. anvendelse af modellens data fra IFC. Programmet tager udgangspunkt i rum-objekterne og deres relationer til konstruktionsobjekterne. I den benyttede version af programmet blev vægge inkl. vinduer og døre behandlet rigtigt.

B.2.3 Statisk analyse af konstruktion

Her brugtes ADT2005-modellen som grundlag for analysen. Igen blev analysen foretaget på en mindre del i bygningsmodellen, nemlig altankonstruktionen opbygget som stålkonstruktion indstøbt i beton. Først blev altankonstruktionen modelleret i detaljer på i ADT. Derefter blev den eksporteret i IFC filformat (2x2) og indlæst i 'Robot Millenium/CBS' v 17.5. Ved anvendelse af 'Finite Element' metoden blev konstruktionens statiske forhold beregnet.

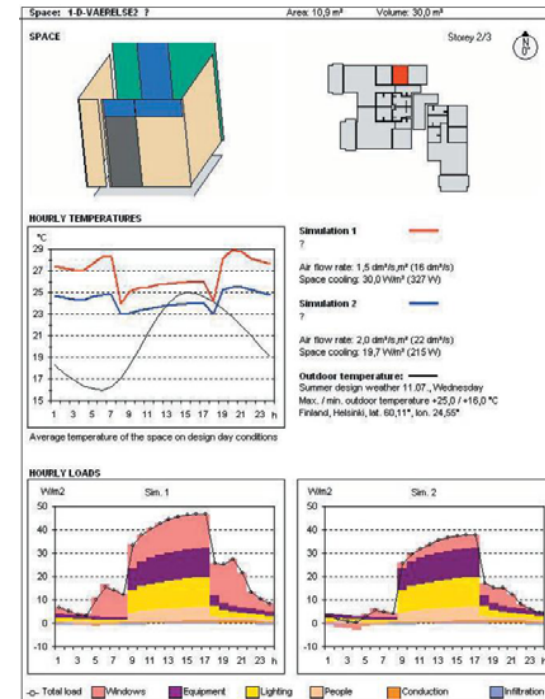


Figur B.3 – statisk analyse af altankonstruktion

Med denne teori betragtes et bjælke-objekt som et endimensionalt element i længderetningen uden højde og breddedimensioner. Kalkulationen baseres derpå efter stålprofilernes centerlinier (se figur B.3). På den måde sammenbindes hvert element via deres endepunkter. 'Robot' er et fleksibelt værktøj med faciliteter for et stort antal forskellige analyser. Beregningen af modellens stålkonstruktion i 'Robot' viste gode resultater.

B.2.3 Termisk analyse.

På basis af en IFC fil fra AC blev der udført termiske analyser via det finske firma Granlund OY. Firmaet anvendte programmet 'Riuska' til opgaven. Der blev udført to simuleringer, hvor den ene drejede sig om at beregne det totale energiforbrug på en af bygningens etager. Det indebar analyse af brugen af kunstigt lys, opvarmning og køling af rum samt øvrigt elforbrug. Derudover udførtes simulering af termisk komfort på for et enkelt udvalgt rum i modellen (se figur B.4). IFC repræsentationen af modellen viste sig at være tilfredsstillende for disse simuleringer.



Figur B.4 – Termisk analyse

B.3 2D tegningsudtræk

Der er foretaget afprøvninger af generering af 2D bygnings-tegninger fra AC og ADT, omfattende 2D plan, snit og facade-tegninger. Kvaliteten af disse udtræk er nogenlunde ens fra de to programmer om end en anelse bedre ved AC. Der kan dynamisk udtrækkes brugbare 2D tegninger i målestoksforholdene 1 : 100 og 1 : 50, hvor grafikken er tilpasset målestoksforholdene. I plantegninger (se figur B.5) vises detaljer af for eksempel ydervægge på tilfredsstillende måde, ligesom også detaljer omkring åbninger, vindues og døråbninger kan vises korrekt.

